

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

Modernizace laboratorních úloh z Elektroniky – operační  
zesilovače  
Modernization of laboratory tasks in Electronics – Operational  
amplifiers

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jan Čverčko**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R003 Aplikovaná elektronika

Téma:

Modernizace laboratorních úloh z Elektroniky - operační zesilovače  
Modernization of Laboratory Tasks in Electronics - Operational Amplifiers

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši v oblastech elektronických modulů, používaných v oblasti elektroniky se zaměřením na operační zesilovače.
2. Specifikujte podmínky na bezpečnost a odolnost vůči poruchám při velké četnosti používání.
3. Na základě pokynů vedoucího bakalářské práce navrhnete vhodný modul pro měření konkrétních úloh.

Seznam doporučené odborné literatury:

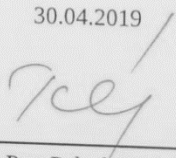
<https://www.rcdidactic.com>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární  
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

„I decide that i have developed this Bachelor Theise indenpendently. I have listed all the the litearary  
sources and publications from witch i drew. “

30.4.2019

Datum

Červák

Podpis studenta

## **Abstrakt (Abstract):**

Práce přibližuje možnosti využití operačních zesilovačů v elektronice, jejich vlastnosti a práci s nimi. Dále pojednává o dostupných modulech, jak tuzemských, tak i zahraničních, pro využití v měřicích úlohách z předmětu Elektronika. V rámci spolupráce s vedoucím této práce a dostupnosti komponentů je zde uveden návrh s veškerými důležitými kroky, údaji a kompletace s podrobným popisem vlastních přípravků, které jsou následně zkoušeny, testovány a jsou na nich prováděna měření. Součástí této práce je také výrobní plánek, ve kterém lze nalézt schémata, masky, osazovací plánky a seznamy součástek dle kterých lze výrobky vyrobit a seřadit. Ke konci jsou shrnuta bezpečnostní opatření, která chrání jak osobu účastnící se měření před úrazem elektrickým proudem, tak i přípravky před zničením při nevhodném používání a možnosti jejich opravy.

This thesis describes possibilities of using operational amplifiers in Electronics, their properties and working with them. It also discusses the available modules both domestic and foreign for use in measuring tasks from the subject Electronic. In collaboration with head of bachelor thesis and availability of components there is a design with all the important steps, data and assemblies with a detailed description of own module which are subsequently tried out, tested and measured. Part of this work is also a production plan, in which can be found schematics, masks, fitting plan and list of components according to which the products can be manufactured and tuned. At the end there are the safety measures that protect both person involved in the measurement from the electric shock and product from being destroyed by improper use and the possibility of repair.

## **Klíčová slova (key words):**

Operační zesilovač, Fázový detektor, Převodník napětí na frekvenci, Cvičný přípravek, FM modulace.

Operational amplifier, Phase detector, Voltage controlled oscillator, Training module, FM modulation.

## Obsah:

Seznam obrázků: .....	6
Seznam tabulek: .....	7
Seznam rovnic: .....	7
Seznam charakteristik: .....	7
Seznam příloh: .....	7
Úvod: .....	8
1. Práce s Oz: .....	9
1.1. Základní údaje .....	9
1.2. Charakteristické parametry <sup>[1]</sup> .....	10
1.3. Tabulky základních a charakteristických parametrů .....	11
1.4. Bloková kapacita a zásady zemnění .....	12
2. Komerčně přístupné moduly Oz: .....	13
2.1. Český modul firmy RC s.r.o. <sup>[8]</sup> .....	13
2.2. Indický modul firmy Acumen Labware <sup>[9]</sup> .....	13
2.3. Vietnamský modul firmy OE-GALAXY <sup>[10]</sup> .....	13
3. Konstrukce vlastního Oz přípravku: .....	14
3.1. Řešení napájení .....	14
3.2. Řešení indikace .....	15
3.3. Řešení U-f převodníku .....	17
3.4. Výběr krabičky .....	18
3.5. Návrh desky plošného spoje .....	19
3.6. Kompletace přípravku .....	21
3.6.1. Ověření funkce Oz přípravku .....	21
3.6.2. Ověření funkce U-f převodníku s fázovým detektorem .....	22
4. Měření: .....	23
4.1. Zdroje napětí .....	23
4.2. Zdroje proudu .....	24
4.4. U-f převodník .....	25
4.7. Modulace FM .....	25
5. Shrnutí odolnosti vůči poruchám a bezpečnosti práce: .....	26
Závěr: .....	26
Seznam literatury a použitého softwaru: .....	27

## Seznam obrázků:

OBRÁZEK 1 (OPERAČNÍ ZESILOVAČ) <sup>[2],[13]</sup> .....	8
OBRÁZEK 2 (ZAPOJENÍ S JEDNÍM OZ) <sup>[1], [2]</sup> .....	8
OBRÁZEK 3 (ROZMÍSTĚNÍ VSTUPŮ A VÝSTUPŮ V ČIPU) <sup>[3], [4], [5]</sup> .....	9
OBRÁZEK 4 (VLIV BLOKOVACÍ KAPACITY NA VÝSTUP) <sup>[6]</sup> .....	12
OBRÁZEK 5 (ROZDĚLENÍ VÝKONOVÉ A SIGNÁLOVÉ ZEMĚ PRO ODSTRANĚNÍ VAZBY) <sup>[1]</sup> .....	12
OBRÁZEK 6 (DOPLŇKOVÁ FILTRACE NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ) <sup>[1]</sup> .....	12
OBRÁZEK 7 (MODUL FIRMY RC S.R.O.) <sup>[8]</sup> .....	13
OBRÁZEK 8 (MODUL FIRMY ACUMEN LABWARE) <sup>[9]</sup> .....	13
OBRÁZEK 9 (MODUL FIRMY OE-GALAXY) <sup>[10]</sup> .....	13
OBRÁZEK 10 (DD1718PA) <sup>[12]</sup> .....	14
OBRÁZEK 11 (CHOVÁNÍ $\mu A741$ ) ZLEVA: KOMPARÁTOR, INVERTUJÍCÍ ZES., NEINVERTUJÍCÍ ZES., ZELENÁ: VSTUP, ŽLUTÁ: VÝSTUP .....	15
OBRÁZEK 12 (ŽLUTA: CHOVÁNÍ $\mu A741$ NA SVORCE $U_{CC}$ ) ZLEVA: KOMPARÁTOR, INVERTUJÍCÍ ZES., NEINVERTUJÍCÍ ZES., 1. NEZATÍŽENÝ 2. ZKRAT .....	15
OBRÁZEK 13 (ŽLUTA: CHOVÁNÍ $\mu A741$ NA SVORCE $U_{EE}$ ) ZLEVA: KOMPARÁTOR, INVERTUJÍCÍ ZES., NEINVERTUJÍCÍ ZES., 1. NEZATÍŽENÝ 2. ZKRAT .....	15
OBRÁZEK 14 (ZAPOJENÍ 200 $\Omega$ K $U_{A741}$ ) .....	16
OBRÁZEK 15 (ŘEŠENÍ INDIKACE) .....	16
OBRÁZEK 16 (NASTAVENÍ DĚLIČE PRO INDIKACE) .....	16
OBRÁZEK 17 (BLOKOVÉ SCHÉMA U-F PŘEVODNÍKU) <sup>[2]</sup> .....	17
OBRÁZEK 18 (KRABICE IP65 S-BOX 116B, POHLED DOVNITŘ) .....	18
OBRÁZEK 19 (NÁLEPKA S FUNKČNÍM SCHÉMATEM NA OZ PŘÍPRAVKU A PŘÍPRAVEK PŘEVODNÍKU U-F S FÁZOVÝM DETEKTOREM) <sup>[14]</sup> .....	18
OBRÁZEK 20 (SCHÉMA ZAPOJENÍ OZ PŘÍPRAVKU Z PROGRAMU EAGLE) <sup>[14]</sup> .....	19
OBRÁZEK 21 (SCHÉMA U-F PŘEVODNÍKU S FÁZOVÝM DETEKTOREM Z PROGRAMU EAGLE) <sup>[14]</sup> .....	19
OBRÁZEK 22 (MASKY OBOU PŘÍPRAVKU EXPORTOVANÉ Z PROGRAMU EAGLE) <sup>[14]</sup> .....	20
OBRÁZEK 23 (OSAZOVACÍ PLÁNKY OBOU PŘÍPRAVKŮ EXPORTOVANÉ Z PROGRAMU EAGLE) <sup>[14]</sup> .....	20
OBRÁZEK 24 (OVĚŘENÍ INDIKACÍ SATURACÍ OZ PŘÍPRAVKU) .....	21
OBRÁZEK 25 (PROBLEMATIKA INDIKACE SATURACE PŘI PŘIPOJENÍ ZÁTĚŽE) <sup>[15]</sup> .....	21
OBRÁZEK 26 (FUNKCE FUNKČNÍHO MĚNIČE) .....	22
OBRÁZEK 27 (FÁZOVÝ DETEKTOR: 1. VSTUP A SYNCHRONIZACE VE FÁZI, 2. VSTUP A VÝSTUP PRO $A = 0^\circ$ , 3. VSTUP A SYNCHRONIZACE S FÁZI $90^\circ$ , 4. VSTUP A VÝSTUP PRO $A = 90^\circ$ ) .....	22
OBRÁZEK 28 (FÁZOVÝ DETEKTOR: 1. VSTUP 50 HZ A NOSNÁ 500 HZ, 2. VSTUP A VÝSTUP, 3. VÝSTUP PŘI NOSNÉ 1 KHZ, 4. VLIV AMPLITUDY VSTUPNÍHO NAPĚTÍ NA TRANZISTOR FÁZOVÉHO DETEKTORU) .....	22
OBRÁZEK 29 (ZJIŠTĚNÍ ZENEROVA NAPĚTÍ) .....	23
OBRÁZEK 30 (ZDROJ NAPĚTÍ S TRANZISTOREM) <sup>[1]</sup> .....	23
OBRÁZEK 31 (ZDROJ NAPĚTÍ S JEDNÍM OZ A ROVNICE PRO VÝPOČET $U_O$ ) <sup>[1]</sup> .....	23
OBRÁZEK 32 (VLEVO ZDROJ PROUDU S DVĚMA TRANZISTORY, VPRAVO ZDROJ PROUDU PROTI ZEMI) <sup>[1]</sup> .....	24
OBRÁZEK 33 (VLEVO ZDROJ PROUDU S DVĚMA TRANZISTORY ZATÍŽEN REZISTOREM 680 $k\Omega$ A KONDENZÁTOREM 6,8 NF, VPRAVO ZDROJ PROUDU PROTI ZEMI ZATÍŽEN REZISTOREM 330 $k\Omega$ A KONDENZÁTOREM 47 NF) .....	24
OBRÁZEK 34 (1.KOMBINACE NA DIP: 000011, 2.KOBINACE NA DIP: 000000) .....	25
OBRÁZEK 35(1.KOMBINACE NA DIP: 000100, 2.KOBINACE NA DIP: 001000) .....	25
OBRÁZEK 36 (1.KOMBINACE NA DIP: 000001, 2.KOBINACE NA DIP: 001001) .....	25
OBRÁZEK 37 (SNÍMEK ZKOMPLETOVANÝCH PŘÍPRAVKŮ) .....	26

## Seznam tabulek:

TABULKA 1 (ZÁKLADNÍ PARAMETRY) <sup>[3][4][5]</sup> .....	11
TABULKA 2 (CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY OZ) <sup>[1][3][4][5]</sup> .....	11
TABULKA 3 (VÝSLEDKY REŠERŠE DC/DC MĚNIČŮ) <sup>[11][12]</sup> .....	14
TABULKA 4 (ZMĚŘENÉ HODNOTY PRO NÁVRH INDIKACE) .....	16
TABULKA 5 (VÝSLEDKY VÝPOČTŮ VÝSTUPNÍ FREKVENCE V HZ U-F PŘEVODNÍKU) .....	17
TABULKA 6 (VÝSLEDEK REŠERŠE KRABÍČEK) <sup>[11]</sup> .....	18
TABULKA 7 (VÝSTUPNÍ FREKVENCE U-F PŘEVODNÍKU PŘI RŮZNÝCH KOMBINACÍCH DIP PŘEPÍNAČE) .....	22

## Seznam rovnic:

ROVNICE 1 (VÝPOČET ZTRÁTOVÉHO VÝKONU PRO SYMETRICKÉ NAPÁJENÍ) .....	9
ROVNICE 2 (VÝPOČET CMR) <sup>[1]</sup> .....	10
ROVNICE 3 (VÝPOČET SVR) <sup>[1]</sup> .....	10
ROVNICE 4 (VÝPOČET TEPLOTNÍHO DRIFTU NAPĚŤOVÉ NESYMETRIE) <sup>[1]</sup> .....	10
ROVNICE 5 (VÝPOČET TEPLOTNÍHO DRIFTU PROUDOVÉ NESYMETRIE) <sup>[1]</sup> .....	10
ROVNICE 6 (VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO PROUDOVÉHO ZATÍŽENÍ PRO SYMETRICKÉ NAPÁJENÍ) .....	12
ROVNICE 7 (VÝPOČET HODNOT ODPORŮ DĚLIČE) .....	16
ROVNICE 8 (ROVNICE PRO VÝSTUPNÍ FREKVENCÍ U-F PŘEVODNÍKU) <sup>[2]</sup> .....	17
ROVNICE 9 (ROVNICE PRO VÝSTUPNÍ FREKVENCÍ U-F PŘEVODNÍKU PO ZJEDNODUŠENÍ) .....	17
ROVNICE 10 (VÝPOČET VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ ZDROJE NAPĚTÍ) <sup>[1]</sup> .....	23
ROVNICE 11 (VÝPOČET $I_0$ PRO ZDROJ S DVĚMA TRANZISTORY) <sup>[1]</sup> .....	24
ROVNICE 12 (VÝPOČET $I_0$ PRO ZDROJ PROUDU PROTI ZEMI) <sup>[1]</sup> .....	24

## Seznam charakteristik:

CHARAKTERISTIKA 1 (ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY DD1718PA) .....	14
CHARAKTERISTIKA 2 (ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY ZDROJŮ NAPĚTÍ) .....	23
CHARAKTERISTIKA 3 (AMPÉR-VOLTOVÉ CHARAKTERISTIKY UVEDENÝCH ZDROJŮ PROUDU) .....	24

## Seznam příloh:

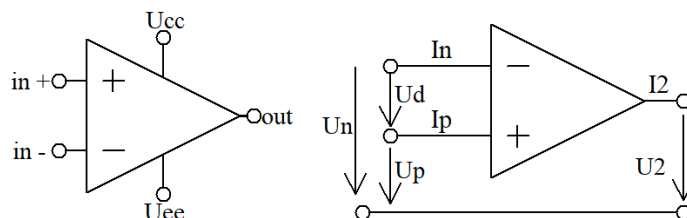
1. Hodnoty z Měření
2. Maska Oz přípravku v měřítku 1:1
3. Maska U-f přípravku s fázovým detektorem v měřítku 1:1
4. Plánky přípravku
5. Schémata přípravků

## Úvod:

Operační zesilovač dále jen Oz.

Z názvu vyplývá jeho prvotní podstata použití pro matematické operace.

Na obrázku níže můžeme vidět značku Oz s označením přívodů, napětí a proudů.

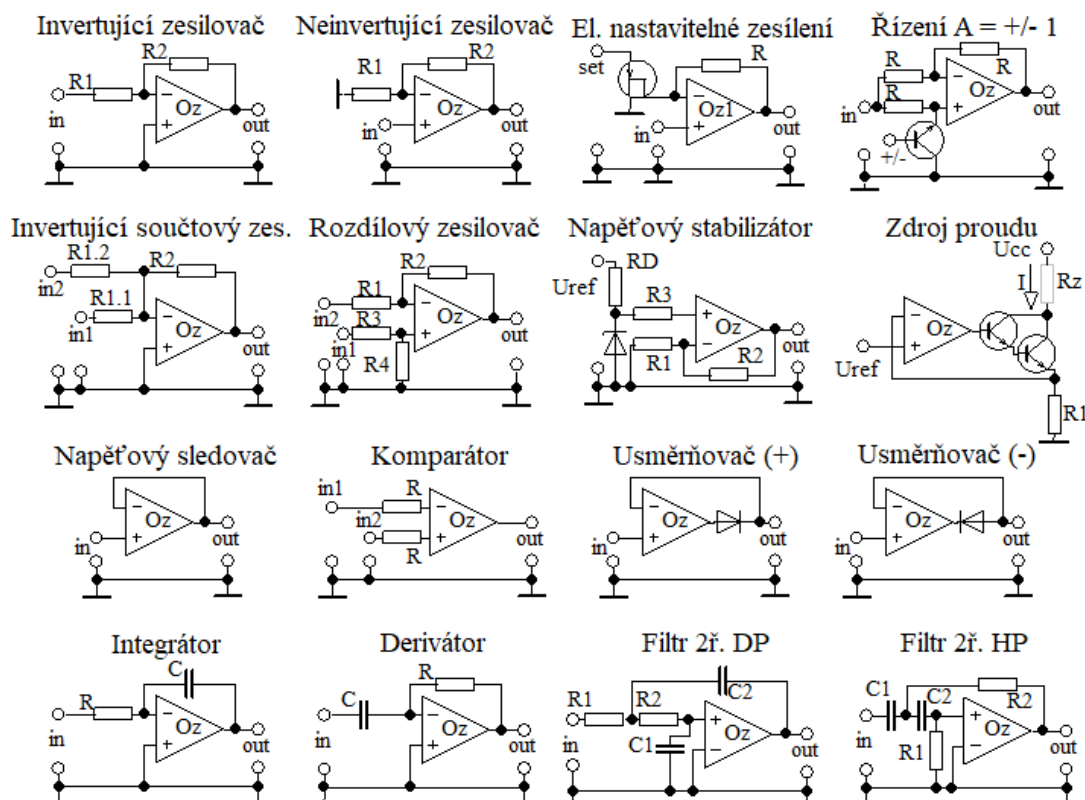


Obrázek 1 (operační zesilovač) [2],[13]

Lze si všimnout že značky mají obrácené invertující a neinvertující vstup. Toto je přípustné vzhledem ke kreslení složitějších schémat, ovšem při kreslení jednoduchých schémat je dobrým zvykem kreslit invertující vstup nahoře což vyplývá z Obrázku 2.

Napájecí vývody se pro přehlednost většinou nekreslí, ovšem například v kreslicím programu EAGLE nesmí chybět.

Na následujícím obrázku jsou základní zapojení s jedním Oz.



Obrázek 2 (zapojení s jedním Oz) [1],[2]

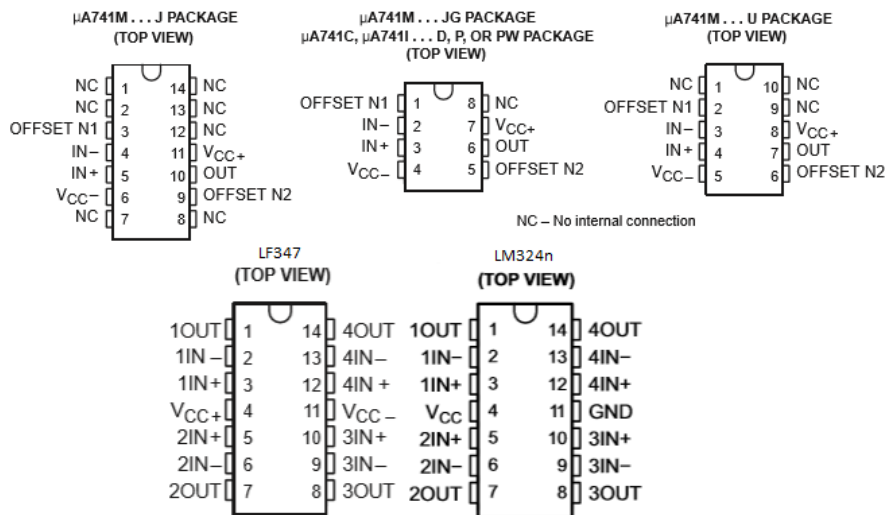
Zkratky: El. – elektronické, zes. – zesilovač, 2ř. – Druhého řádu, DP – dolní propust, HP – horní propust, (+) a (-) – označují polaritu usměrněného napětí



# 1. Práce s Oz:

## 1.1. Základní údaje

Před počátkem práce s Oz je důležité znát rozmístění vstupu a výstupu v čipu. Následující obrázek ukazuje rozmístění v čípech použitých v rámci této práce.



Obrázek 3 (rozmístění vstupů a výstupů v čipu) [3], [4], [5]

Na obrázku si lze všimnout, že LF347 a LM324n mají stejné vnitřní rozmístění, což vzhledem k návrhu znamená komptabilitu pro oba tyto Oz. Nicméně LM324n je vhodnější spíše pro stejnosměrné aplikace s napětím až do 30 V při připojení GND na potenciál země a V<sub>CC</sub> na 30 V, oproti rychlému LF347, který je vyroben JFET technologií a pro symetrické napájení do 18 V kladných na U<sub>CC</sub>+ a záporných na U<sub>CC</sub>-.

Další podstatné informace obsahuje následující seznam.

- I. Napájecí napětí – +U<sub>cc</sub> a -U<sub>cc</sub> (také U<sub>cc</sub> a U<sub>ee</sub>) v dokumentaci čipu jsou uvedeny maximální a minimální hodnoty pro oba napájecí piny (u LM324n lze považovat GND za U<sub>ee</sub>).
- II. Mezní rozdílové napětí – U<sub>ID</sub> je to maximální hodnota napětí která může být mezi piny IN+ a IN- (je dána rozdílem potenciálů na U<sub>cc</sub> a U<sub>ee</sub>).
- III. Mezní vstupní napětí – U<sub>I</sub>max tato hodnota je také dána napájením např.: při napájení ±15 V odpovídá hodnotě ±15 V nebo při nesymetrickém napájení 30 V odpovídá hodnotě 30 V. Při jeho překročení je možné čip zničit. Je to tedy maximální hodnota, kterou je možné přivést na vstup.
- IV. Mezní ztrátový výkon – P<sub>tot</sub> určuje, jakým výkonem lze čip zatížit bez většího přehřívání čipu. např.: při odběru 15 mA při napájení ±15 V vychází 450 mW dle následující rovnice. P<sub>tot</sub> bývá běžně kolem 500 mW, takže teoreticky máme ještě 50mW rezervu pokud by katalogová hodnota nebyla nižší.

$$P_p = 2 * 15 V * 15 mA = 450 mW \quad (I)$$

Rovnice 1 (výpočet ztrátového výkonu pro symetrické napájení)

- V. Rozsah pracovních teplot – θ<sub>a</sub> určuje rozmezí teplot okolí, ve kterém Oz pracuje správně.
- VI. Odolnost vůči zkratu – většinou bývá výrobcem uvedena jako neomezená.

## 1.2. Charakteristické parametry <sup>[1]</sup>

- 1) Napěťová nesymetrie –  $U_{IO}$ , vyjadřuje hodnotu výstupního napětí při nulovém vstupním napětí
- 2) Proudová nesymetrie –  $I_{IO}$
- 3) Vstupní klidový proud –  $I_B$
- 4) Vstupní odpor –  $R_{IE}$ , rozumí se vstupní odpor mezi kladným a záporným vstupem
- 5) Napěťové zesílení otevřené smyčky –  $A_u$
- 6) Napájecí proud –  $I_{cc}$ , proud odebíraný při nulovém výstupním napětí
- 7) Rozkmit výstupního napětí –  $U_{omax}$
- 8) Vstupní napěťový rozsah –  $U_i$  (mezní souhlasné napětí), rozsah napětí na kladném vstupu, pro který platí lineární převodní charakteristika
- 9) Potlačení souhlasného signálu – **CMR**, spojíme-li kladný a záporný vstup a měníme vstupní napětí proti zemní svorce, mělo by být výstupní napětí stále nulové. Ideální zesilovač zesiluje pouze rozdílové napětí  $u_d$ . U skutečných zesilovačů se ale mění. Změníme-li například vstupní napětí (souhlasné) o 10 V a výstupní napětí se změní o 1 mV, je hodnota CMR dle následující rovnice.

$$CMR = 20 \log ( 10 \text{ V} / 1 \text{ mV} ) = 20 \log 10^4 = 80 \text{ dB} \quad (2)$$

Rovnice 2 (Výpočet CMR) <sup>[1]</sup>

- 10) Potlačení vlivu změn napájecího napětí – **SVR**, měníme-li napětí  $U_{cc}$  nebo  $U_{ee}$ , nesmí se u ideálního operačního zesilovače měnit výstupní napětí. U skutečných zesilovačů se ale mění. Změna se vyjadřuje buď v  $\mu\text{V/V}$  nebo v dB. Změní-li se  $U_{cc}$  o 5 V a  $u_o$  se změní o 500  $\mu\text{V}$ , je SVR dle následující rovnice.

$$SVR [\text{dB}] = 20 \log ( 5 \text{ V} / 500 \mu\text{V} ) = 20 \log 10^4 = 80 \text{ dB} \quad (3)$$

Rovnice 3 (Výpočet SVR) <sup>[1]</sup>

- 11) Výstupní proud nakrátko –  $I_{os}$ , je to proud, který dodá operační zesilovač do zkratu proti zemní svorce.
- 12) Výstupní odpor –  $R_o$ , je to odpor, který je ve výstupu operačního zesilovače, není-li zapojena zpětná vazba. Je-li zapojena záporná zpětná vazba napěťová, jde o hodnoty pod 0,1  $\Omega$ .
- 13) Vstupní kapacita –  $C_i$ , je to kapacita mezi kladným a záporným vstupem (běžně asi 3 pF).
- 14) Mezní průchozí (tranzitní) kmitočet –  $f_T$ .
- 15) Rychlost přeběhu –  $S$ , vyjadřuje se v  $\text{V}/\mu\text{s}$  a je důležitá pro rychlé aplikace.
- 16) Teplotní drift napěťové nesymetrie –  $\alpha U_{IO}$ , popisuje změny napěťové nesymetrie s teplotou, vyjadřuje se v  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Je-li  $\alpha U_{IO} = 10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  a teplota okolí se zvýší o 20  $^\circ\text{C}$  (od katalogové teploty 25  $^\circ\text{C}$ ), změní se vstupní napěťová nesymetrie  $U_{IO}$  o hodnotu z následující rovnice.

$$+U_{IO} = 20 * 10 \mu\text{V} = 200 \mu\text{V} = 0,2 \text{ mV} \quad (4)$$

Rovnice 4 (Výpočet teplotního driftu napěťové nesymetrie) <sup>[1]</sup>

- 17) Teplotní drift proudové nesymetrie –  $\alpha I_{IO}$ , popisuje změny proudové nesymetrie s teplotou, vyjadřuje se v  $\text{pA}/^\circ\text{C}$ . Je-li  $\alpha I_{IO} = 160 \text{ pA}/^\circ\text{C}$  a teplota okolí se zvýší o 20  $^\circ\text{C}$  (od katalogové hodnoty 25  $^\circ\text{C}$ ), změní se proudová nesymetrie  $I_{IO}$  o hodnotu z následující rovnice

$$+I_{IO} = 20 * 160 \text{ pA} = 3200 \text{ pA} = 3,6 \text{ nA} \quad (5)$$

Rovnice 5 (Výpočet teplotního driftu proudové nesymetrie) <sup>[1]</sup>

### 1.3. Tabulky základních a charakteristických parametrů

Tabulka 1 (základní parametry) <sup>[3][4][5]</sup>

Číslo	Parametr	jednotka	LF347 (JFET)	LM324n (bipolární)	μA741C (bipolární)
I.	$U_{CCmax}$	V	±18	Od 3 do 32	±18
II.	$U_{Idmax}$	V	±30	±32	±30
III.	$U_{Imax}$	V	±15	-0,3 do 32	±15
IV.	$P_{tot}$	mW	608	- <sup>(2)</sup>	500
V.	$\vartheta_a$	°C	0 až 70	-65 až 150	0 až 70
VI.	-	s	Neomezeno	Neomezeno <sup>(1)</sup>	Neomezeno

(1) Při zkratu výstupu na potenciál  $U_{cc}$  může dojít k extrémnímu přehřátí a zničení

(2) Maximální výkon je dán rovnicí  $P_{tot} = (\vartheta_{j(max)} - \vartheta_a) / \theta_{JA}$

Tabulka 2 (Charakteristické parametry Oz) <sup>[1][3][4][5]</sup>

	Par.	Jednotka	Ideální zesilovač	MAA74 1	LF347 (JFET)	LM324n <sup>(1)</sup> (bipolární)	UA741C (bipolární)
1	$U_{IO}$	mV	0	2	5 až 10	3 až 7	1 až 6
2	$I_{IO}$	nA	0	20	25 pA až 100 pA	2 až 50	20 až 200
3	$I_{IB}$	nA	0	80	50 pA až 200 pA	-20 až -250	80 až 500
4	$R_{ISE}(R_D)$	MΩ	∞	2	$10^{12} \Omega$	-	0,3 až 2
5	$A_u$	-	∞	150000	-	-	-
6	$I_{CC}$	mA	0	1,2	8 až 11	0,7 až 1,2	1,7 až 2,8
7	$U_{omax}$	V	∞	±13	±13,5	( $U_{cc} - 1,5$ )	±12 až ±14
8	$U_I$	V	∞	±13	-12 do 15	0 až ( $U_{cc} - 2$ )	±13
9	CMR	dB	∞	90	70 až 100	65 až 80	70 až 90
10	SVR	μV/V, (dB)	0, (∞ dB)	50, (86)	70 až 100 dB	-	30 až 150 dB
11	$I_{os}$	mA	∞	±25	-	±40 až ±60	±25 až ±40
12	$R_o$	Ω	0	75	-	-	75
13	$C_I$	pF	0	2,7	-	-	1,4
14	$f_T$	MHz	∞	1	-	-	-
15	S	V/μS	∞	0,5	8 až 13	0,5	0,5
16	$\alpha U_{IO}$	μV/°C	0	10	18	-	-
17	$\alpha I_{IO}$	pA/°C	0	160	-	-	-

(1) Údaje u tohoto Oz jsou uvedeny pro nesymetrické napájení 5 V

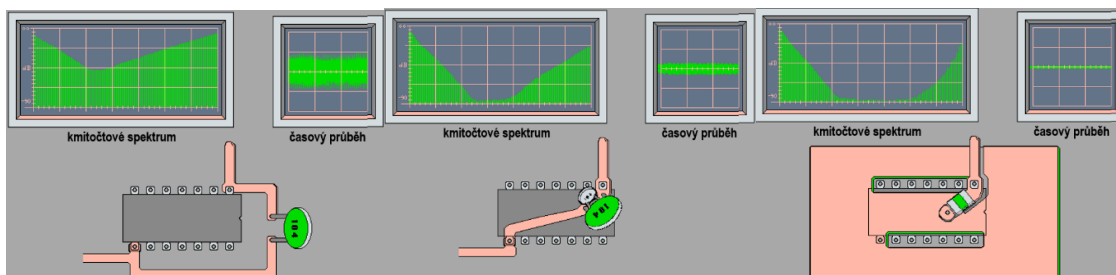
Z tabulkových hodnot maximálního výkonového zatížení vyplývá maximální proudové zatížení výstupu. Pro symetrické napájení  $\pm 15$  V platí následující rovnice.

$$I_{max} = \frac{P_{tot}}{2 * U_{cc}} = \frac{500 \text{ mW}}{2 * 15} \doteq 16,667 \text{ mA} \quad (6)$$

Rovnice 6 (Výpočet maximálního proudového zatížení pro symetrické napájení)

Na tento proud vybíráme zpětnovazební a zatěžovací rezistory, tak aby výsledný proud nebyl vyšší, čip se zbytečně nepřehříval a nedocházelo k chybám vlivem teploty nebo jeho zničení.

#### 1.4. Bloková kapacita a zásady zemnění

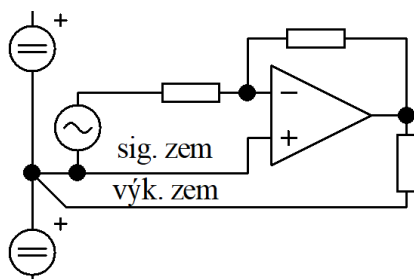


Obrázek 4 (vliv blokové kapacity na výstup) [6]

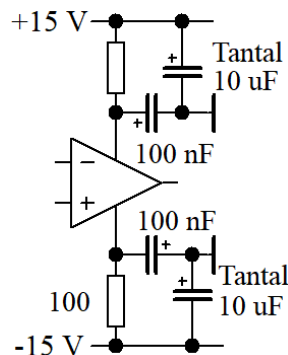
Z obrázku si lze všimnout, že čip může být ovlivněn vnějším elektromagnetickým rušením. Tomu se dá bránit blokovacími kondenzátory 100 nF. Z obrázku taktéž vyplývá, že velký vliv na rušivé signály má i jejich umístění a rozlití GND potenciálu po desce plošného spoje. Nejlepší umístění blokové kapacity je tak, aby rušivé proudy neprotékaly živými svorkami zdroje a uzavíraly se čistě přes výstup, zátěž a skrz kondenzátor do napájecího pinu čipu, což je nejkratší možná smyčka.

Při rozlití potenciálu GND pod čipem (SMD) může vzniknout vzdušný kondenzátor, který může narušit činnost velmi rychlých zařízení, což v praxi dělalo problém u A/D převodníků. [7]

Pro další potlačení vlivu proudů se dá rozdělit signálová zem a výkonová. Minimalizují se tím nežádoucí zpětné vazby např.: u invertujícího zesilovače kladná vazba přes zem.



Obrázek 5  
(rozdělení výkonové a signálové země pro odstranění vazby) [1]

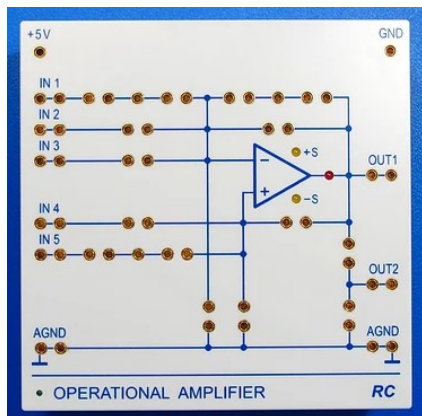


Obrázek 6  
(Doplnková filtrace napájecího napětí) [1]

## 2. Komerčně přístupné moduly Oz:

V rámci rešerše se povedlo najít tři různé moduly jeden z České republiky, jeden z Indie a poslední z Vietnamu. Následně se podařilo dohledat další čtyři z Indie, které už ovšem nejsou uvedeny. Níže jsou uvedeny jejich obrázky a popis.

### 2.1. Český modul firmy RC s.r.o.<sup>[8]</sup>



- 1x rychlý Oz a zapojovací pole
- Výstupní napětí  $\pm 10$  V (zátěž  $R_L = 4000 \Omega$ )
- Výstupní proud  $\pm 22$  mA
- Nízká výstupní napěťová nesymetrie a CMR
- Zesílení otevřené smyčky 130 dB
- Rozměry 100x100x42 mm
- Indikace napájení, zkratu výstupu a  $\pm$  saturace

Obrázek 7  
(modul firmy RC s.r.o.)<sup>[8]</sup>

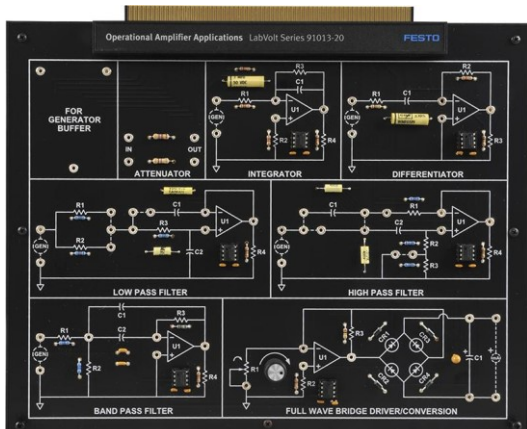
### 2.2. Indický modul firmy Acumen Labware<sup>[9]</sup>



- 3x Oz s možností výměny a zapojovací pole
- Obsahuje sadu kondenzátorů a dalších součástek
- Zaměřen na základní úlohy s Oz
- Jako sada se dá pořídit se zdroji a Voltmetrem
- Vytvořen na bakelitové desce
- Potištěn pro snadnou orientaci

Obrázek 8 (modul firmy Acumen Labware)<sup>[9]</sup>

### 3.3. Vietnamský modul firmy OE-GALAXY<sup>[10]</sup>



Obrázek 9 (modul firmy OE-GALAXY)<sup>[10]</sup>

- Možnost vyměnit Oz za libovolný kompatibilní
- Předem připravené úlohy
- Sledovač napětí
- Integrátor
- Derivátor
- Filtry HP, DP a pásmová propust
- Zesilovač s ovladatelným zesílením
- Můstkový usměrňovač

### 3. Konstrukce vlastního Oz přípravku:

Požadavky:

Vstupní napájecí napětí 5 V stejnosměrných, symetrické napájení Oz  $\pm 15$  V, Indikace saturací a zkratu na výstupu, rozměry krabičky 100x100x50 mm.

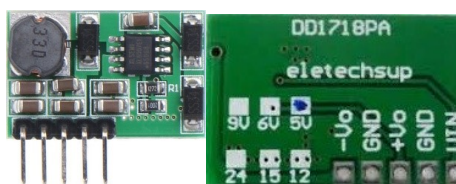
#### 3.1. Řešení napájení

Z požadavků na napájení vyplývá, že bude zapotřebí použít DC/DC měnič po provedení rešerše. Byly uvedeny následující možnosti:

Tabulka 3 (výsledky rešerše DC/DC měničů) <sup>[11][12]</sup>

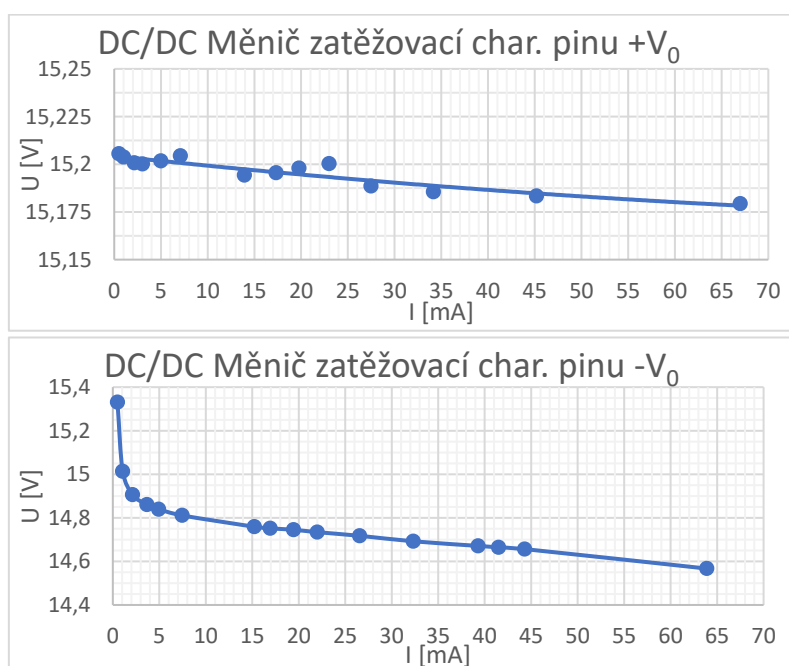
MAX232	28 Kč	Možnost využít kapacitní pumpu (potřeba vnějších obvodů)
MAX742	157 Kč	Spínaný zdroj pracující na frekvenci 200 kHz (potřeba vnějších obvodů)
LT1054	57 Kč	Spínaný zdroj pracující na frekvenci 25 kHz (potřeba vnějších obvodů)
TPS65130	11\$ 5 ks	Spínaný zdroj pracující na frekvenci 1 MHz (potřeba vnějších obvodů)
DD1718PA	66 Kč	Kompletní DC/DC měnič z 5 V na $\pm 15$ V

Po konzultacích s vedoucím práce a momentální dostupnosti byl zvolen DD1718PA.



Obrázek 10 (DD1718PA) <sup>[12]</sup>

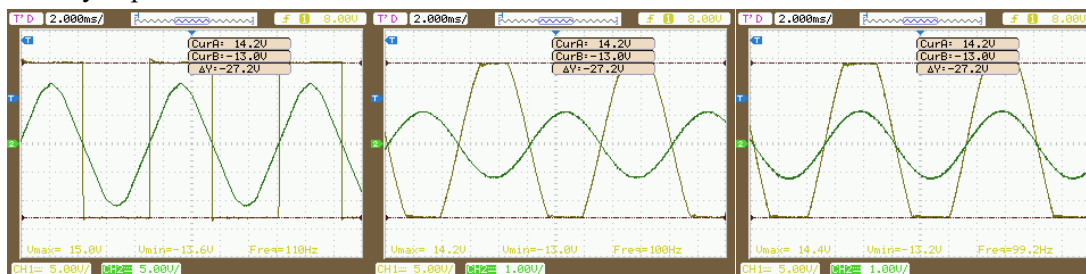
Tento DC/DC měnič je osazen sedmi kondenzátory, třemi shottkyho diodami, indukčností, dvěma rezistory a čipem XL6007 firmy XLSEMI



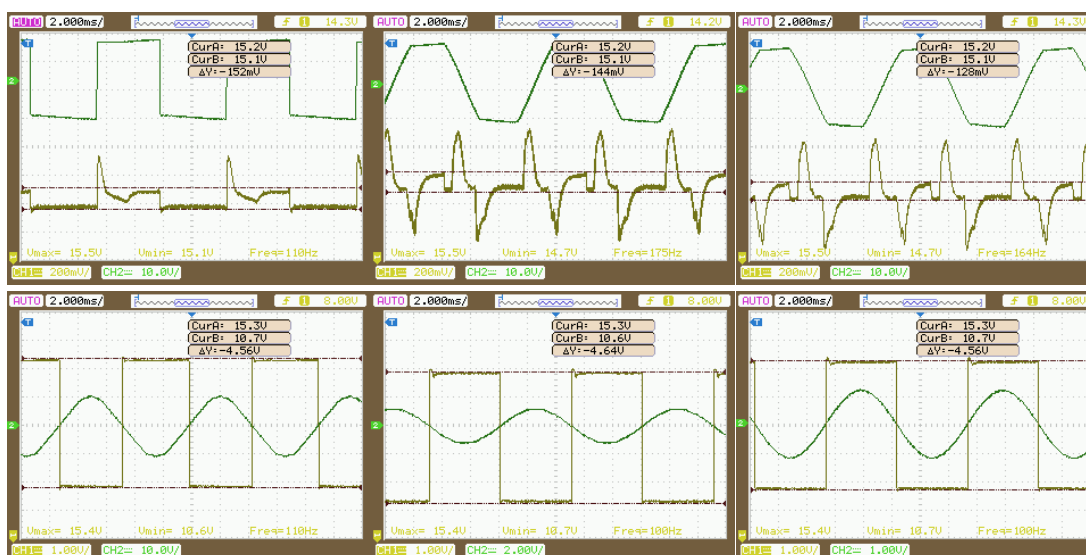
Charakteristika 1 (zatěžovací charakteristiky DD1718PA)

### 3.2. Řešení indikace

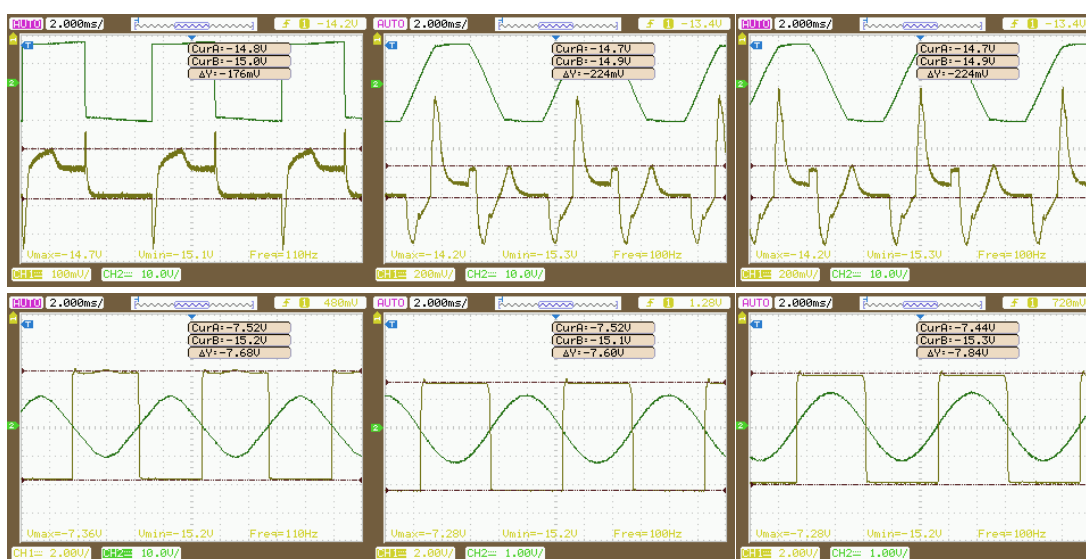
Pro vyřešení indikace bylo zapotřebí zjistit chování  $\mu A741$  napájeným DD1718PA přes odpor  $200\ \Omega$ . Zkoumáno bylo zapojení komparátoru nuly a sinu se vstupními odpory  $5,5\ k\Omega$ , invertující a neinvertující zesilující zapojení s rezistory  $150\ k\Omega$  a  $10\ k\Omega$ . Tyto všechny bez zatížení a při zkratu výstupu na GND.



Obrázek 11 (Chování  $\mu A741$ ) zleva: komparátor, invertující zes., neinvertující zes., zelená: vstup, žlutá: výstup



Obrázek 12 (Žluta: chování  $\mu A741$  na svorce  $U_{cc}$ ) zleva: komparátor, invertující zes., neinvertující zes., 1. nezatížen 2. zkrat



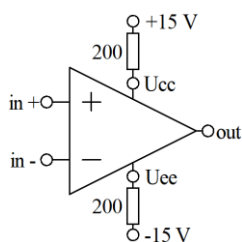
Obrázek 13 (Žluta: Chování  $\mu A741$  na svorce  $U_{ee}$ ) zleva: komparátor, invertující zes., neinvertující zes., 1. nezatížen 2. zkrat



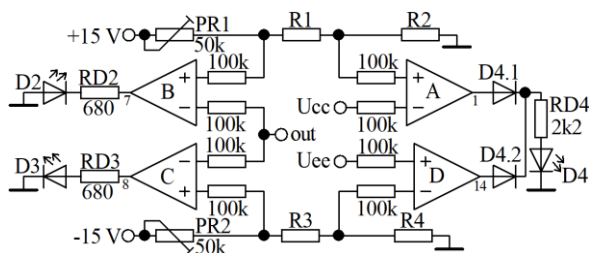
Tabulka 4 (Změřené hodnoty pro návrh indikace)

$U_{SAT+}$ [V]	14,2	$U_{ccOKmin}$ [V]	14,7	$U_{ccZKmin}$ [V]	10,6
$U_{SAT-}$ [V]	-13	$U_{eeOKmin}$ [V]	-14,2	$U_{eeZKmin}$ [V]	-10,6

Lze si všimnout že bude třeba sloučit vyhodnocení zkratu při záporné a kladné saturaci, protože při kladné saturaci vzniká úbytek na rezistoru v kladné napájecí větvi a naopak. Hodnota  $U_{eeZKmin}$  byla upravena praktickým změřením digitálním voltmetrem na pinu  $U_{ee}$ , když se nepovedlo aplikovat hodnoty z osciloskopu.



Obrázek 14  
(zapojení 200 Ω k UA741)



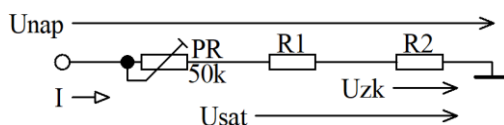
Obrázek 15  
(řešení indikace)

Máme tedy čtyři hodnoty, které si vytvoříme z napájení DD1718PA a budeme je porovnávat se skutečnými hodnotami z  $\mu A741$  pomocí čtyř Oz z LM324n zapojených jako komparátory obrázek 15.

Z názvu svorek je zřejmé, jak budou obrázky 14 a 15 propojeny. Funkce jednotlivých Oz:

- A) poklesne-li napětí na  $U_{cc}$  pod referenční hodnotu, rozsvítí se D4 (zkrat pro kladnou saturaci)
- B) přesáhne-li napětí na **out** referenční hodnotu, rozsvítí se D2 (kladná saturace)
- C) poklesne-li napětí na **out** pod referenční hodnotu, rozsvítí se D3 (záporná saturace)
- D) přesáhne-li napětí na  $U_{ee}$  referenční hodnotu, rozsvítí se D4 (zkrat pro zápornou saturaci)

Výpočet hodnot PR1, R1, R2, PR2, R3, R4:



Obrázek 16 (nastavení děliče pro indikace)

$$I = \frac{U_{ZK}}{R_2} = \frac{10,8}{150 \text{ k}} = 72 \text{ uA} \quad (7.1)$$

$$R_1 = \frac{U_{SAT} - U_{ZK}}{I} = \frac{13,9 - 10,8}{72 \text{ u}} = 43 \text{ 055,56 } \Omega \stackrel{E12}{\approx} 2x \text{ 22k } \stackrel{E12}{\approx} 44 \text{ k } \Omega \quad (7.2)$$

$$PR = \frac{U_{nap} - U_{SAT}}{I} = \frac{15,2 - 13,9}{72 \text{ u}} = 18 \text{ 055,56 } \Omega \quad (7.3)$$

$$U_{R2} = I * R_2 = 72 \text{ u} * 150 \text{ k} = 10,8 \text{ V} \quad (7.4)$$

$$U_{R1+R2} = U_{R2} + I * R_{1E12} = 10,8 + 72 \text{ u} * 44 \text{ k} = 13,968 \text{ V} \quad (7.5)$$

Rovnice 7 (Výpočet hodnot odporů děliče)

Při stejnosměrném měření bylo určeno  $U_{nap+} = 15,2 \text{ V}$  a  $U_{nap-} = 14,7 \text{ V}$ .

Pro zápornou větev se postup opakuje s hodnotami pro záporné stavy. Pro hodnoty rezistorů viz. schéma (obrázek 20, str. 19).

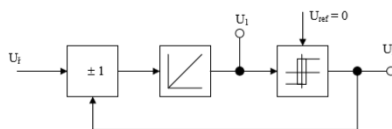


### 3.3. Řešení U-f převodníku

Převodník napětí na frekvenci, Dále jen U-f.

Při realizaci tohoto přípravku se pracuje s konceptem následujícího obrázku.

Vstup je přiveden na dvě indikační diody, kdy LED3 indikuje záporné napětí na vstupu a LED2 vyšší nebo stejné 10 V, viz. schéma (obrázek 21, str.19).



Obrázek 17 (blokové schéma U-f převodníku) <sup>[2]</sup>

Následující rovnice <sup>[2]</sup> vyjadřuje vztah výstupní frekvence, řídicího napětí a parametrů zapojení. Kde  $R_3$  a  $R_4$  tvoří hysterezi komparátoru z blokového schématu.

$$f_g = \frac{1}{4R_1C_1} \frac{R_3 + R_4}{R_3} \frac{U_{\text{ř}}}{U_{20}} \quad (8)$$

Rovnice 8 (rovnice pro výstupní frekvenci U-f převodníku) <sup>[2]</sup>

Následující rovnice a tabulka výstupních frekvencí pro různé konfigurace U-f převodníku počítá se stejnými výšemi saturačního napětí a to 10 V, či přesným omezením v obou směrech na 10 V, vstupním řídicím napětí 10 V,  $R_3 = \infty$  a  $R_4 = 0$ . Tyto odpory mají také vliv na amplitudu trojúhelníku. Tímto nastavením volíme shodnou s obdélníkem.

$$f_g = \frac{1}{4R_1C_1} \quad (9)$$

Rovnice 9 (rovnice pro výstupní frekvenci U-f převodníku po zjednodušení)

Tabulka 5 (výsledky výpočtů výstupní frekvence v Hz U-f převodníku)

C <sub>1</sub>	180 pF	390 pF	1 nF	1,2 nF	1,8 nF	3,9 nF	10 nF	39 nF	101 nF	R <sub>1</sub> [Ω]
	2,04E+06	9,43E+05	3,68E+05	3,06E+05	2,04E+05	9,43E+04	3,68E+04	9,43E+03	3,64E+03	680
	1,39E+06	6,41E+05	2,50E+05	2,08E+05	1,39E+05	6,41E+04	2,50E+04	6,41E+03	2,48E+03	1000
	9,26E+05	4,27E+05	1,67E+05	1,39E+05	9,26E+04	4,27E+04	1,67E+04	4,27E+03	1,65E+03	1500
	6,31E+05	2,91E+05	1,14E+05	9,47E+04	6,31E+04	2,91E+04	1,14E+04	2,91E+03	1,13E+03	2200
	4,21E+05	1,94E+05	7,58E+04	6,31E+04	4,21E+04	1,94E+04	7,58E+03	1,94E+03	7,50E+02	3300
	2,96E+05	1,36E+05	5,32E+04	4,43E+04	2,96E+04	1,36E+04	5,32E+03	1,36E+03	5,27E+02	4700
	2,04E+05	9,43E+04	3,68E+04	3,06E+04	2,04E+04	9,43E+03	3,68E+03	9,43E+02	3,64E+02	6800
	1,39E+05	6,41E+04	2,50E+04	2,08E+04	1,39E+04	6,41E+03	2,50E+03	6,41E+02	2,48E+02	10000
	9,26E+04	4,27E+04	1,67E+04	1,39E+04	9,26E+03	4,27E+03	1,67E+03	4,27E+02	1,65E+02	15000
	6,31E+04	2,91E+04	1,14E+04	9,47E+03	6,31E+03	2,91E+03	1,14E+03	2,91E+02	1,13E+02	22000
	4,21E+04	1,94E+04	7,58E+03	6,31E+03	4,21E+03	1,94E+03	7,58E+02	1,94E+02	7,50E+01	33000
	2,96E+04	1,36E+04	5,32E+03	4,43E+03	2,96E+03	1,36E+03	5,32E+02	1,36E+02	5,27E+01	47000
	2,04E+04	9,43E+03	3,68E+03	3,06E+03	2,04E+03	9,43E+02	3,68E+02	9,43E+01	3,64E+01	68000
	1,39E+04	6,41E+03	2,50E+03	2,08E+03	1,39E+03	6,41E+02	2,50E+02	6,41E+01	2,48E+01	100000
	9,26E+03	4,27E+03	1,67E+03	1,39E+03	9,26E+02	4,27E+02	1,67E+02	4,27E+01	1,65E+01	150000
	6,04E+03	2,79E+03	1,09E+03	9,06E+02	6,04E+02	2,79E+02	1,09E+02	2,79E+01	1,08E+01	230000
	2,04E+03	9,43E+02	3,68E+02	3,06E+02	2,04E+02	9,43E+01	3,68E+01	9,43E+00	3,64E+00	680000

V tabulce jsou vyznačeny a hodnoty  $C_1$  a  $R_1$ , které byly vybrány pro realizaci.  $R_1$  je kombinace  $R_3$  a  $R_4$  ze schématu (obrázek 21, str.19). Tabulka je také barevně rozdělena po zhruba desetinásobcích výstupní frekvence. Funkční měnič bude realizován změnou zesílení pro zvyšující se úroveň signálu. Nastavení bude provedeno experimentálně.

### 3.4. Výběr krabičky

Tabulka 6 (výsledek řešení krabiček) <sup>[11]</sup>

Plastová krabička U-MINI, ABS HF 380 černý	36 Kč	69x69x32 mm
Krabice IP44 S-BOX 036BO bílá	30 Kč	80x80x40 mm
Krabička plastová KP44	25 Kč	90x65x22 mm (není dostupná)
Krabice IP65 S-BOX 116B	47 Kč	100x100x50 mm

Po konzultaci s vedoucím práce a nejlepší shodě se zadáním byla zvolena Krabice IP65 S-BOX 116B.



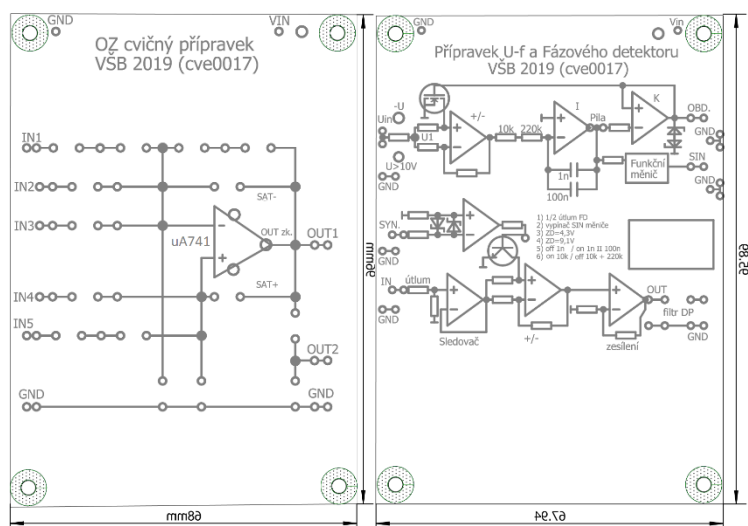
Obrázek 18 (Krabice IP65 S-BOX 116B, pohled dovnitř)

Po zakoupení a rozměření vnitřního prostoru krabičky bylo zjištěno, že deska může mít maximální rozměry 96 mm na výšku a 68 mm na šířku či naopak.

Provedení uchycení desky plošného spoje bylo následně zadáno pomocí šroubů a maticek skrz víko.

Vývody přípravku, případné nastavovací a indikační prvky pro snadnou manipulaci a práci dostupné taktéž skrz víko.

Vrtací plánec na víko byl vytvořen pomocí programu EAGLE, kdy se podle funkčního schématu umísťovaly dutinky do desky plošného spoje. Podle tohoto schématu se poté víko navrtovalo.



Obrázek 19

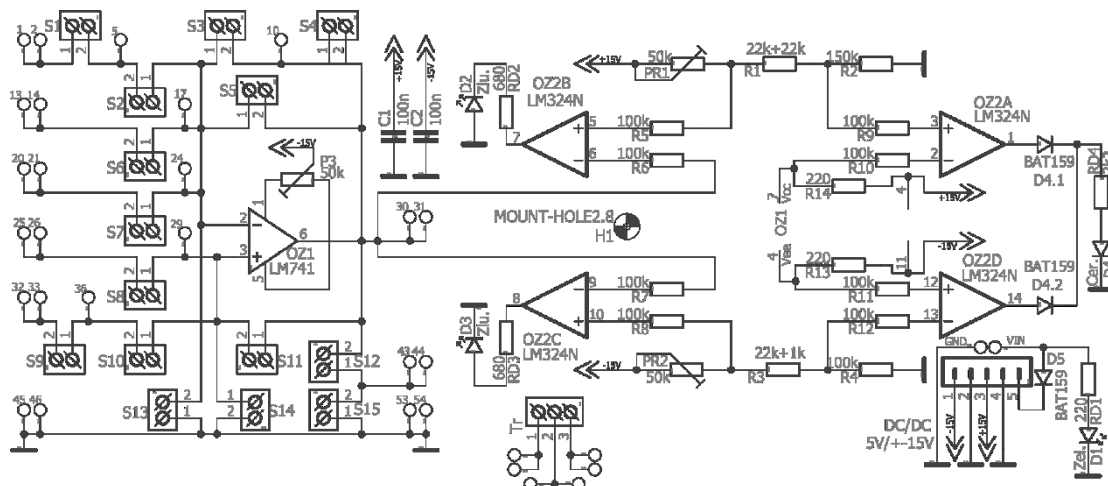
(nálepka s funkčním schématem na Oz přípravek a přípravek převodníku U-f s fázovým detektorem) <sup>[14]</sup>

### 3.5. Návrh desky plošného spoje

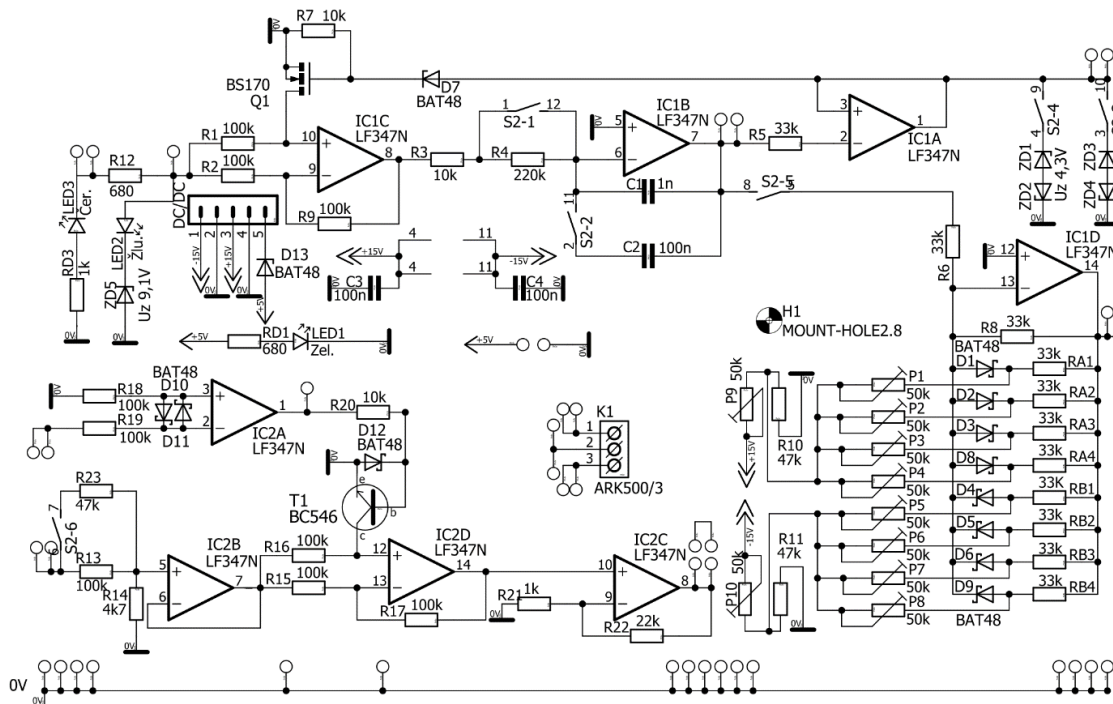
Pro realizaci této práce byl zvolen program EAGLE.

Kvůli větším náchylnostem čipů k zničení, jsou vsazeny do patic.

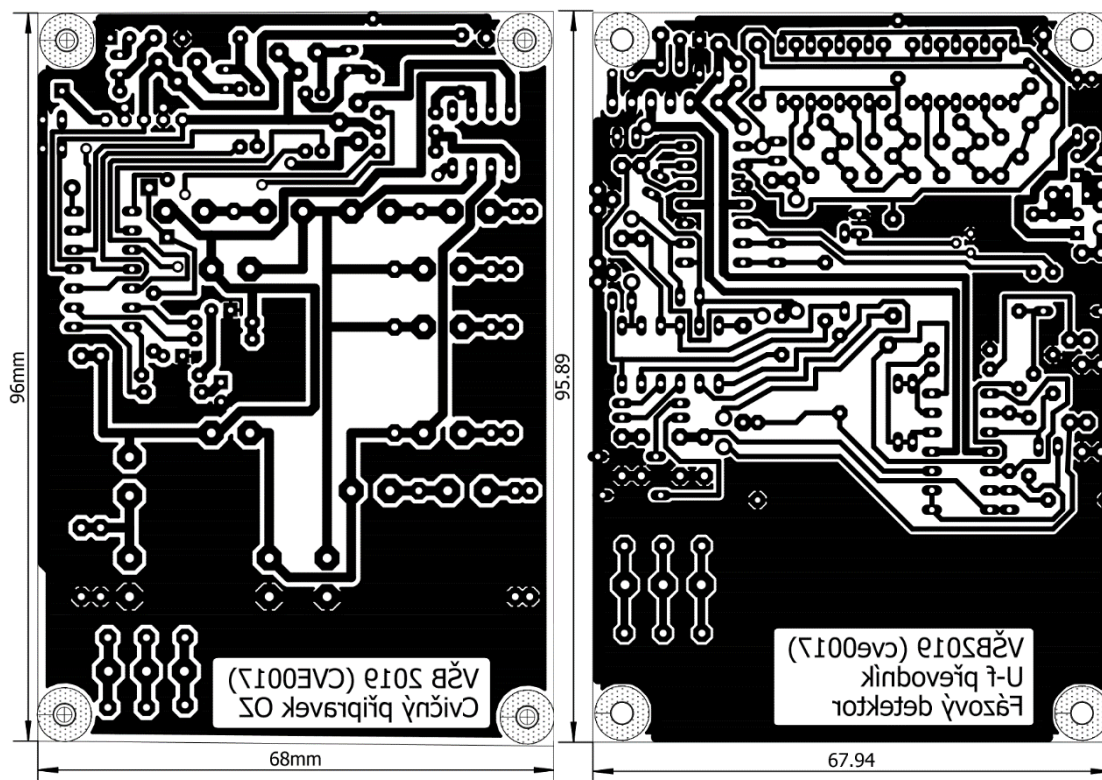
Pro možnost výměny součástek, bez potřeby odšroubování desky od víka, je deska přišroubována stranou mědi na víko (součástky jsou dostupné po odklopení víka z krabičky). Z čehož vyplývá, že při návrhu je třeba dbát na to, aby strana mědi pasovala s funkčním schématem na nálepce. Což znamená, že funkční schéma v programu EAGLE bylo nakresleno zrcadlově.



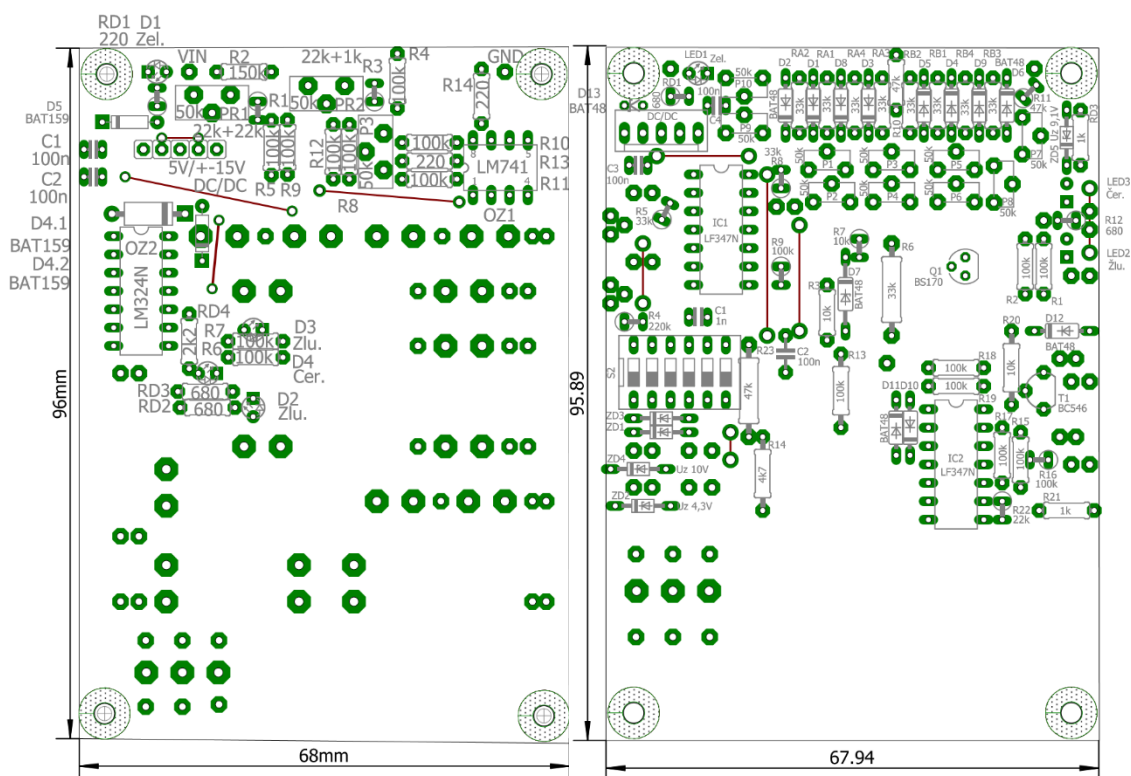
Obrázek 20 (schéma zapojení Oz přípravku z programu EAGLE) <sup>[14]</sup>



Obrázek 21 (schéma U-f převodníku s fázovým detektorem z programu EAGLE) <sup>[14]</sup>



Obrázek 22 (masky obou přípravku exportované z programu EAGLE) [14]



Obrázek 23 (osazovací plánky obou přípravků exportované z programu EAGLE) [14]

### 3.6. Kompletace přípravku

#### 3.6.1. Ověření funkce Oz přípravku

Oz přípravek byl zkoušen v zapojení neinvertujícího zesilovače, kdy se postupně zvyšovala amplituda vstupního signálu.

Na snímku z osciloskopu si lze všimnout kurzorů, které byly ponechány v místě, kdy indikační dioda začala svítit.

Vzhledem k setrvačnosti lidského oka a výstupní frekvenci by bylo vhodnější ověření postupným zvyšováním stejnosměrné úrovně napětí na vstupu.

Kontrola zkratové indikace proběhla při vstupní frekvenci 1 Hz a stejném zapojení. Při zátěži zhruba  $300\ \Omega$  na výstupu proti zemi se začala projevovat první indikace a po snížení zátěže na  $200\ \Omega$  už indikační dioda zkratu stabilně svítila.

Při připojení zátěže dochází k výpadku indikace saturace i přes to, že ve skutečnosti se Oz v saturaci nachází. Náhled na tuto problematiku je na obrázku 25, kdy si při zvýšení zátěže zachovává výstupní signál svůj tvar, ale s nižší amplitudou jako na průběhu níže.

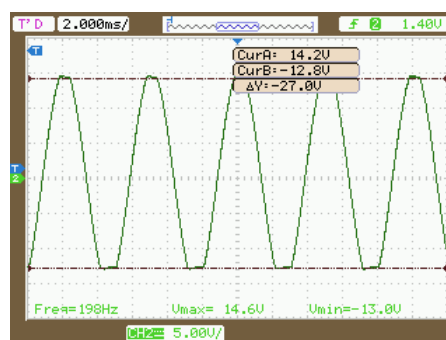
Tento problém by se dal vyřešit připojením dostatečně velkého odporu např.:  $15\ \text{k}\Omega$  mezi výstup Oz a dutinky označené jako výstupní.

To by však mělo za následek, že na dutinkách označených jako (out) nedostaneme plné saturační napětí a že Oz lze přetížit pouze přes zpětnovazební dutinky které by vzhledem k funkčnosti musely být připojeny k výstupu Oz přímo. Z toho vyplývá, že na přípravku by byly v jeden okamžik dvě různá výstupní napětí:

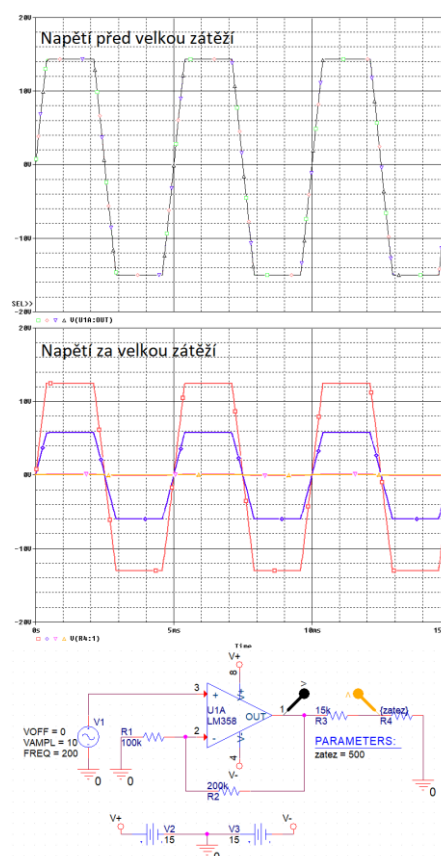
Před velkým odporem – zpětnovazební dutinky

Za velkým odporem – výstupní dutinky

Dalším řešením by mohlo být dvojče, které by sdílelo veškeré dutinky, kromě výstupních. Bylo by zatíženo konstantě a probíhalo by připínání a odpínání pomocí tranzistorů k dutinkám na víku.



Obrázek 24 (Ověření indikací saturací Oz přípravku)



Obrázek 25 (Problematika indikace saturace při připojení zátěže) [15]



### 3.6.2. Ověření funkce U-f převodníku s fázovým detektorem

Měření výstupu U-f převodníku bylo prováděno při vstupním napětí 10 V, pro snímky viz. (str. 25).

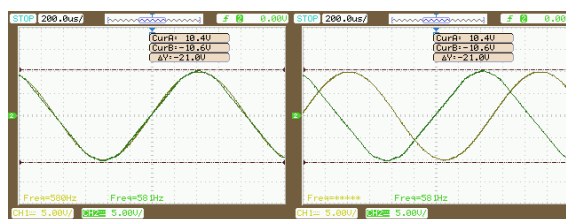
Tabulka 7 (výstupní frekvence U-f převodníku při různých kombinacích DIP přepínače)

1 omezení = 4,3 V 0 žádné omezení	1 omezení = 9,1 V 0 žádné omezení	1 C = 101 nF 0 C = 1 nF	1 R <sub>1</sub> = 10 kΩ 0 R <sub>1</sub> = 230 kΩ	Výstupní frekvence [Hz]
0	0	1	1	189
0	0	0	0	505
0	1	0	0	758
1	0	0	0	1 050
0	0	0	1	7 890
1	0	0	1	17 300

Zpětným ohlédnutím na (tabulku 5 str. 17) lze potvrdit správnost funkce, kdy pro hodnotu 758 Hz do 1090 Hz zbývá 332 Hz (chyba zhruba 30 % od výpočtu). Odchylka může být dána přesností součástek jako jsou zenerovy diody, rezistory a kondenzátory.

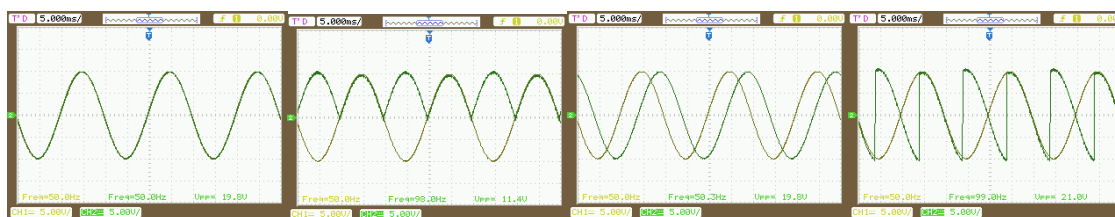
Na následujících snímcích je funkce funkčního měniče pily na sinus.

Žlutý je průběh z generátoru a zelený z přípravku.

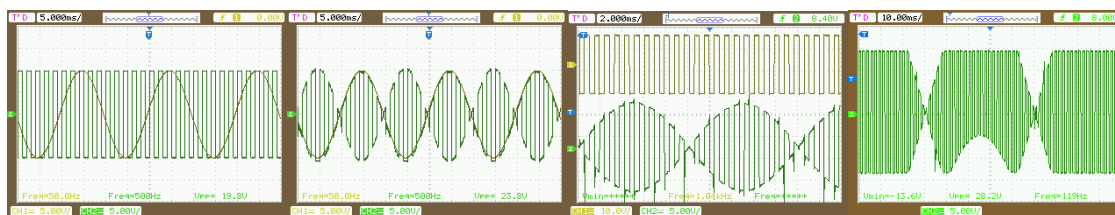


Obrázek 26 (funkce funkčního měniče)

Měření výstupu fázového detektoru probíhalo pro vstupní sinusové napětí a synchronizační sinusová s různou fází a obdélníková s různou frekvencí. Fázový detektor při měření správně otáčel fází o 180° při kladném napětí na SYN vývodech a správně zachoval i amplitudu vstupního signálu přivedeného do IN vývodu.



Obrázek 27 (Fázový detektor: 1. vstup a synchronizace ve fázi, 2. vstup a výstup pro  $\alpha = 0^\circ$ , 3. vstup a synchronizace s fází 90°, 4. vstup a výstup pro  $\alpha = 90^\circ$ )



Obrázek 28 (Fázový detektor: 1. vstup 50 Hz a nosná 500 Hz, 2. vstup a výstup, 3. výstup při nosné 1 kHz, 4. vliv amplitudy vstupního napětí na tranzistor fázového detektoru)

## 4. Měření:

Pro veškerá měření v této práci byly použity:

stolní laboratorní zdroje z místnosti

POREB016,

osciloskop Agilent Technologies DSO1002A,

stabilizovaný zdroj 30 V, 0,6 A SZ 3.81,

stolní multimetr SIGLENT SDM 3055,

digitální multimetr

TRUE RMS ULTIMETR Escort 179,

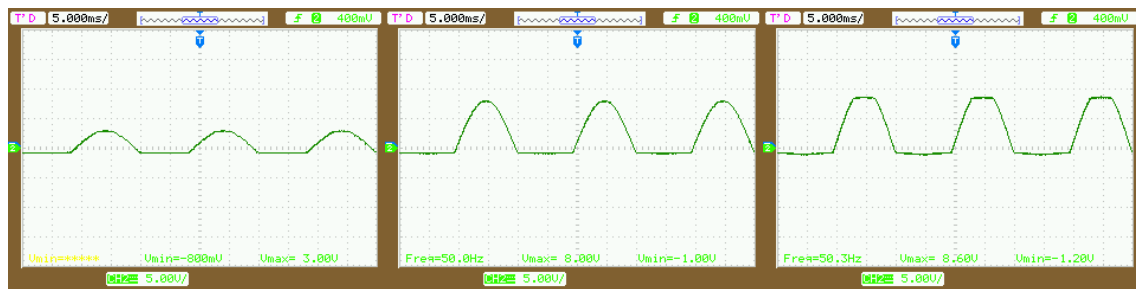
generátor signálů Agilent 33220A,

oba navržené přípravky,

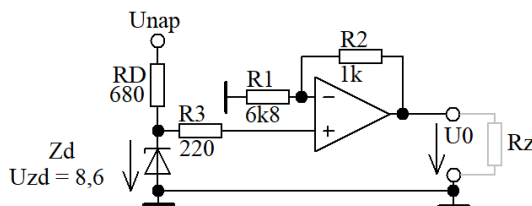
dostupné součástky místnosti POREB016.

### 4.1. Zdroje napětí

Zjištění Zenerova napětí a následně měření:



Obrázek 29 (zjištění zenerova napětí)

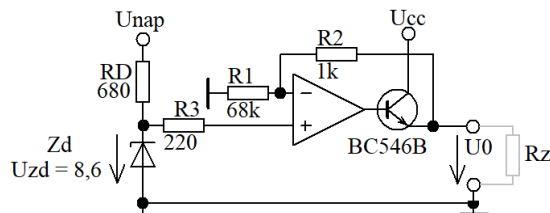


Obrázek 31 (zdroj napětí s jedním Oz a rovnice pro výpočet  $U_0$ ) [1]

$$U_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) * U_{zd} \quad (10.1)$$

$$U_0 = \left(1 + \frac{1k}{6k8}\right) * 8,6 = 9,8647 V \quad (10.2)$$

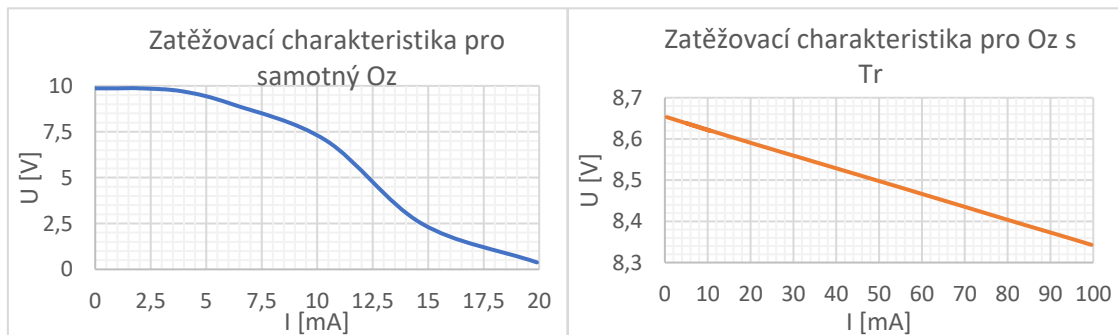
Rovnice 10 (výpočet výstupního napětí zdroje napětí) [1]



Obrázek 30 (zdroj napětí s tranzistorem) [1]

Zapojením tranzistoru podle obrázku 30 se výrazně zvýší proudový rozsah který je omezen maximálním proudem  $I_{CE}$  tranzistoru. Rovnice pro  $U_0$  zůstává stejná.

Pro porovnání viz. charakteristika 2 níže.



Charakteristika 2 (zatěžovací charakteristiky zdrojů napětí)

## 4.2. Zdroje proudu



Obrázek 32 (vlevo zdroj proudu s dvěma tranzistory, vpravo zdroj proudu proti zemi)<sup>[1]</sup>

$$I_0 = \frac{U_1}{R_1} \left(1 - \frac{1}{\beta_1 \beta_2}\right) \quad (11.1)$$

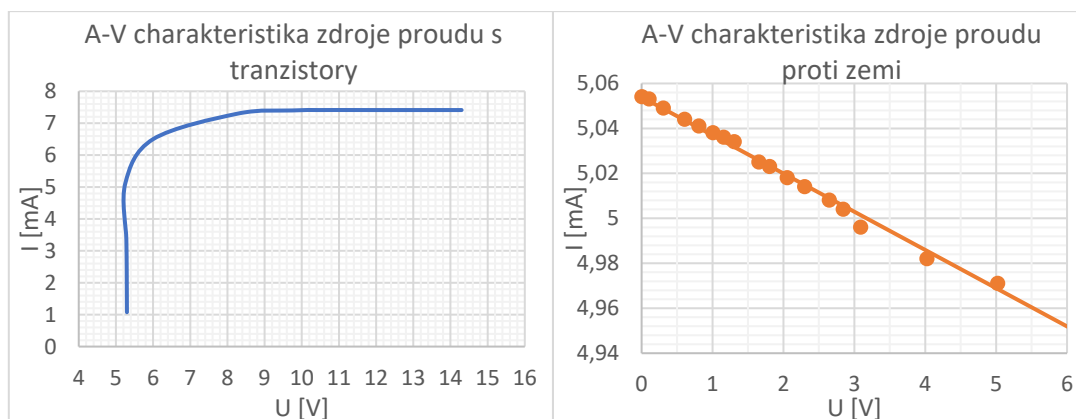
$$I_0 = \frac{(U_1 = U_{ref})}{R_1} \left(1 - \frac{1}{\beta_1 \beta_2}\right) = \frac{5}{680} \left(1 - \frac{1}{180 * 180}\right) = 7,352 \text{ mA} \quad (11.2)$$

Rovnice 11 (výpočet  $I_0$  pro zdroj s dvěma tranzistory)<sup>[1]</sup>

$$I_0 = (U_1 - U_2)/R_1 \quad (12.1)$$

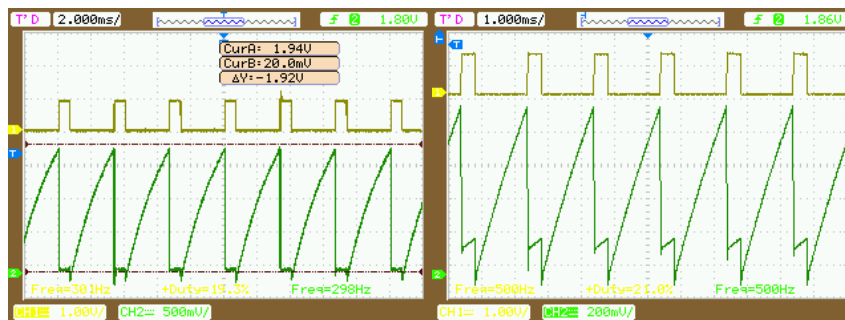
$$I_0 = \frac{5 - 0}{1k} = 5 \text{ mA} \quad (12.2)$$

Rovnice 12 (výpočet  $I_0$  pro zdroj proudu proti zemi)<sup>[1]</sup>



Charakteristika 3 (ampér-voltové charakteristiky uvedených zdrojů proudu)

Tyto zdroje proudu byly následně použity pro nabíjení kondenzátorů, které byly při příchodu obdélníkového signálu zkratovány:

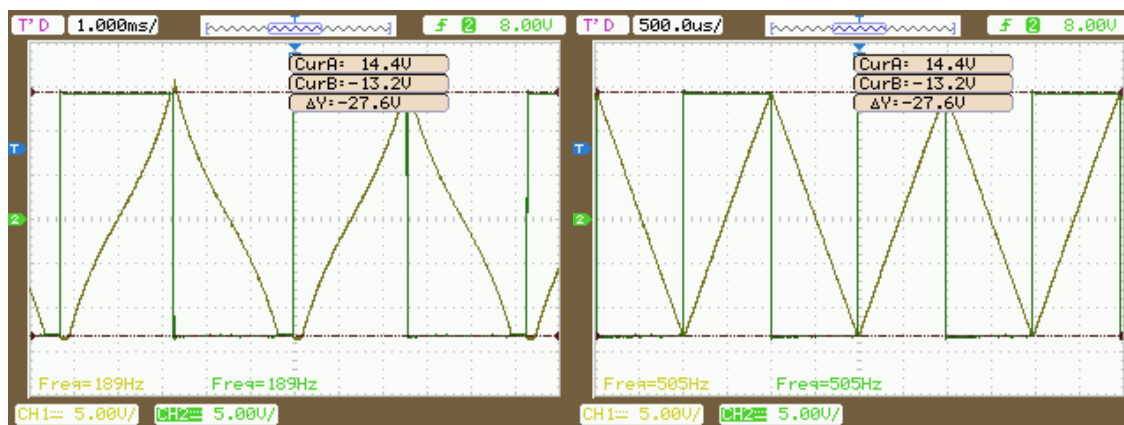


Obrázek 33 (vlevo Zdroj proudu s dvěma tranzistory zatížen rezistorem 680 kΩ a kondenzátorem 6,8 nF, vpravo Zdroj proudu proti zemi zatížen rezistorem 330 kΩ a kondenzátorem 47 nF)

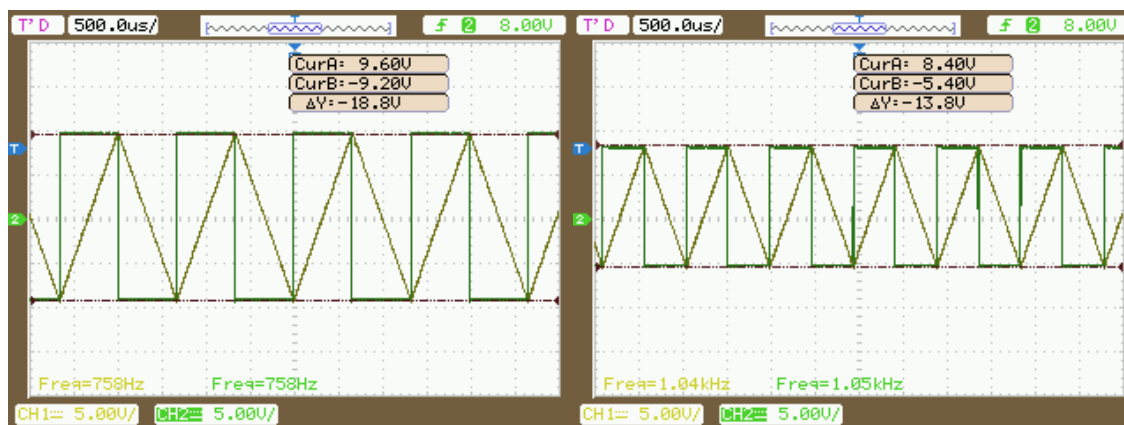


## 4.4. U-f převodník

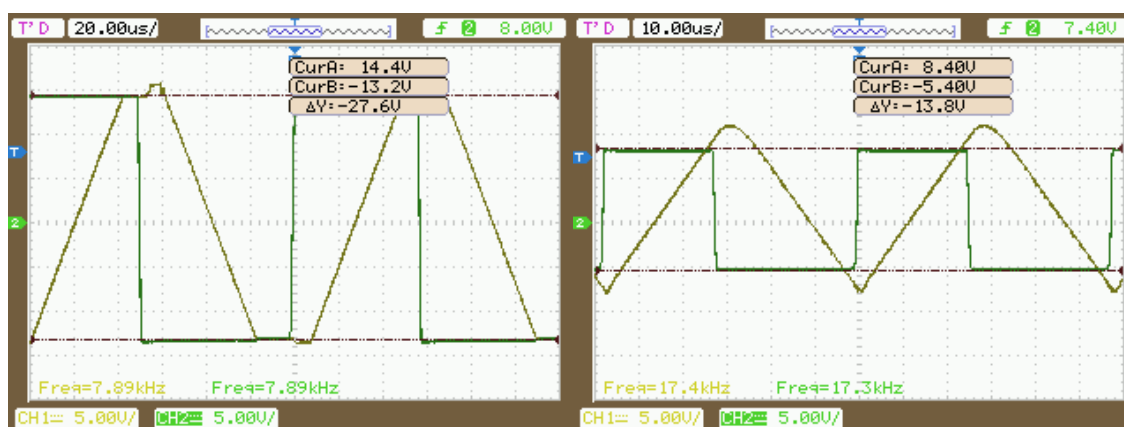
Tyto snímky byly pořízeny při kontrole funkčnosti a mají tedy přímou návaznost na (tabulku 7, str. 22) i tytéž podmínky.



Obrázek 34 (1.kombinace na dip: 000011, 2.kobinace na dip: 000000)



Obrázek 35(1.kombinace na dip: 000100, 2.kobinace na dip: 001000)



Obrázek 36 (1.kombinace na dip: 000001, 2.kobinace na dip: 001001)

## 4.7. Modulace FM

- zmíněno při ověření funkčnosti (obrázek 29 str. 22)

## 5. Shrnutí odolnosti vůči poruchám a bezpečnosti práce:

Oba tyto přípravky pracují s bezpečným malým napětím a jsou pevně zakrytovány.

Napájecí napětí není možné otočit vzhledem k diodě, která by byla pro tento smysl napětí polarizována závěrně. Přiložením vyššího napětí lze přípravky zničit, čemuž se dá předejít použitím zdroje s pevným výstupním napětím 5 V.

Při překročení vstupního napětí pro cvičný přípravek Oz je možné zničit čip  $\mu A741$ , avšak k jeho výměně stačí odšroubovat víko (vzhledem k rozmístění na desce by bylo možné zpřístupnit čip skrz víko).

Přípravek U-f převodníku má na vstupu indikační diody, které zhruba signalizují smysl a velikost napětí na vstupu.

Fázový detektor má na vstupu odporový útlumový článek kvůli tranzistoru. Při vyšším vstupním napětí než 1 V přípravek projevuje chybu viz. (obrázek 28 str. 22).

Výstupy přípravku lze zkratovat proti zemi, což plyne z dokumentace použitých čipů.

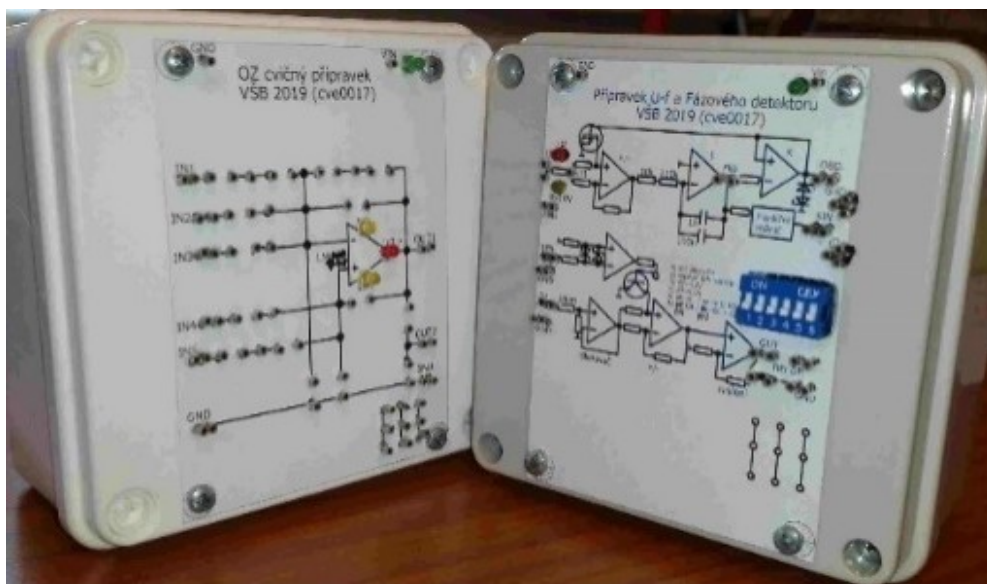
Součástky s vyšší poruchovostí jsou vsazeny do patic pro urychlení jejich výměny.

Použité dutinky pro oba přípravky jsou z pevného materiálu a připájeny s dostatečným prohrátím plošky i dutinky, tak aby byla zaručena pevnost i funkčnost spoje.

Při práci s těmito přípravky je třeba dbát správného zasouvání a nenásilného vytahování prvků a propojovacích drátku spíše z hlediska možnosti poškození prvků či utržení drátku od kolíku.

## Závěr:

V rámci této bakalářské práce byly vytvořeny dva přípravky s operačními zesilovači. První lze použít pro různá zapojení s jedním operačním zesilovačem viz. (obrázek 2 str. 8). Druhý lze použít jako generátor obdélníkového, trojúhelníkového nebo sinusového signálu a společně s fázovým detektorem jako FM modulátor, FM demodulátor, fázový závěs, fázově citlivý usměrňovač.



Obrázek 37 (snímek zkompletovaných přípravků)

## Seznam literatury a použitého softwaru:

- [1] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektrotechnice*. 4.doplňené vydání. 1998. ISBN 80-86056-37-6
- [2] BRANDŠTETTER, Pavel. *Technické prostředky pro řízení elektrických pohonů*. Učební texty pro kombinované a distanční studium. VŠB-TU Ostrava, 2005.
- [3]  $\mu A741$ ,  $\mu A741\gamma$ , *General-Purpose Operational Amplifier*.  
Dallas, Texas: Texas Instruments Inc, 2000.
- [4] *LF347, LF347B, JFet-Input Quad Operational Amplifier*.  
Dallas, Texas: Texas Instruments Inc, 1994.
- [5] *Quadruple Operational Amplifiers: LM124, LM124A, LM224, LM224A, LM324, LM324A, LM2902, LM2902V, LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV*  
Dallas, Texas: Texas Instruments Inc, 2014.
- [6] SLÁDEČEK, Václav. *Principy zařízení komerční elektroniky*,  
Učební texty pro kombinované a distanční studium. VŠB-TU Ostrava, 2006.
- [7] *Principy zařízení komerční elektroniky: EMC. Téma 1. VŠB-TU Ostrava: SLÁDEČEK*,  
2019. Výuka letního semestru pro 3. ročník AE.
- [8] RC s.r.o., [online], [23.4.2019],  
URL< <https://www.rcdidactic.com/modul-operacniho-zesilovace-kod-116>>.
- [9] Acumen Labware, [online], [23.4.2019],  
URL<<http://acumenlabware.com/electronics-training-kits/basic-operational-amplifier.html>>.
- [10] OEGALAXY CÔNG TY TNHH CÔNG NGHỆ & THƯƠNG MẠI NGÂN GIANG,  
[online], [23.4.2019],  
URL<<http://www.oegalaxy.com.vn/en/products/f.a.c.e.t/operational-amplifier-applications/85/1>>
- [11] GM electronic, spol. s.r.o., [online], [23.4.2019],  
URL<<https://www.gme.cz/>>.
- [12] eBay Inc., [online], [23.4.2019],  
URL<<https://www.ebay.com/itm/5V-6V-9V-12V-15V-24V-Positive-Negative-Dual-DC-DC-Step-up-Boost-Converter-/282513241853>>.
- [13] VLČEK, Jiří. *Základy elektrotechniky: Technické kreslení*, 3. vydání 2006, [online],  
[23.4.2019],  
URL <[https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0001/000102\\_techicke\\_kresleni.pdf](https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0001/000102_techicke_kresleni.pdf)>
- [14] EAGLE [počítačový program]. V 7.5.0., 1988-2015 CadSoft
- [15] OrCAD Capture [počítačový program]. V16-6-112D, 2011  
Cadence Desing Sytems Inc.
- [16] profiCAD [počítačový program]. V 8.4.1.